

## Аналіз стану агроландшафтів за матеріалами безпілотного знімання

Вовк Ю.В., Курач Т.М.

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ, Україна, [julia.didyk789@gmail.com](mailto:julia.didyk789@gmail.com)

Надішла до редакційної колегії 25.03.2022.

Прийнята: 28.03.2022

**Анотація.** У даній статті проаналізовано стан агроландшафтів України. Виокремлено негативні чинники, які впливають на компоненти агроландшафту, призводять до їх виснаження,

забруднення та деградації, а також знижують кількість та якість виробленої продукції. Розглянуто переваги використання безпілотних літальних апаратів для цілей агромоніторингу. Виокремлено основні етапи та вимоги до здійснення знімальних робіт з безпілотних літальних апаратів для отримання матеріалів на основі яких здійснюється аналіз стану агроландшафтів. Окреслено особливості використання індексу NDVI для оцінки стану рослинності. Зокрема, за допомогою програмного забезпечення Pix4D Mapper виконано обробку різночасових мультиспектральних знімків та отримано значення NDVI, які стали основою для створення растрової моделі вегетаційного індексу території. Обґрунтовано заходи для досягнення оптимізації агроландшафтів Бориспільського району Київської області.

**Ключові слова:** агроландшафт, вегетаційний індекс, мультиспектральна зйомка, безпілотний літальний апарат.

## Analysis of the agricultural landscapes based on UAV survey materials

Vovk Y., Kurach T.

Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine, [julia.didyk789@gmail.com](mailto:julia.didyk789@gmail.com)

**Annotation.** This article analyzes the state of the agricultural landscapes of Ukraine. It describes negative factors that affect the components of the agricultural landscape, lead to their depletion, pollution and degradation, as well as reduce the quantity and quality of products. The publication considers the advantages of using unmanned aerial vehicles (UAV) for agromonitoring purposes. It also features the main stages and requirements for the implementation of surveys from UAV to obtain the materials which are necessary for the analysis of the agricultural landscapes state. It demonstrates the feasibility of using the NDVI index to assess the state of vegetation. Especially, with the help of Pix4D Mapper software, the multispectral images were processed to obtain the NDVI values, which became the basis for creating a raster model of the vegetation index for the agricultural landscape area. The publication offers a solution to achieve optimization of agricultural landscapes of the Boryspil district of the Kyiv region.

**Keywords:** agrolandscape, vegetation index, multispectral survey, unmanned aerial vehicle.

**Вступ.** Агроландшафт — це антропогенний ландшафт, основу якого становлять агроценози, тобто сільськогосподарські угіддя та штучні лісові насадження, зокрема лісосмуги та інші захисні насадження (Тихонова О., 2009).

У результаті надмірного використання людиною агроландшафтів, зокрема, проведення меліоративних заходів, забруднення пестицидами, виснаження земель тощо, посилюється негативний вплив на компоненти агроландшафту, змінюється його структура, зменшується якість природних ресурсів. Усі ці негативні фактори погіршують екологічний стан

агрорландшафтів, знижують кількість і якість вирощеної продукції, провокують збільшення площ сільськогосподарських угідь, що в свою чергу веде до значного розорення земель.

Здійснення аналізу агрорландшафтів дозволяє вчасно виявити деградаційні процеси, їх негативний вплив на стан земель та взяти необхідних заходів щодо їх усунення.

Пошуку найкращих варіантів оптимізації агрорландшафтів з метою досягнення екологічно збалансованого і економічно доцільного землекористування присвячено праці багатьох вітчизняних учених – С.Ю. Булигіна, В.І. Буракова, Л.Я. Новаковського, В.Ф. Сайка, О.Г. Тараріко, А.М. Третяка, О.І. Фурдичка, С.Г. Чорного, Н.М. Шелякіна та інших. Однак, питання збереження агрорландшафтів досі залишається актуальним і потребує подальшого наукового дослідження і обґрунтування (Тараріко О., 2007).

Одним із сучасних способів здійснення аналізу агрорландшафтів є використання безпілотних літальних апаратів, які є найбільш оперативними та ефективними засобами з економічної точки зору.

У якості досліджуваної території обрано ділянку агрорландшафту, розташовану поблизу с. Велика Олександрівка Бориспільського району Київської області.

**Метою** статті є дослідження стану агрорландшафтів Бориспільського району з використанням безпілотних літальних апаратів.

Для досягнення даної мети були поставлені наступні **завдання**:

- проаналізувати сучасний стан агрорландшафтів України;
- визначити основні підходи проведення аналізу стану агрорландшафтів за допомогою безпілотних літальних апаратів;
- виконати обробку різночасових мультиспектральних знімків отриманих із БПЛА та розробити растрову модель на основі отриманих значень вегетаційного індексу;
- обґрунтувати заходи оптимізації агрорландшафту території.

**Матеріали і методи дослідження.** У даному дослідженні були використані загальнонаукові методи пізнання, а саме: аналізу і синтезу, алгоритмізації, вимірювання та спостереження.

Аерозйомка досліджуваної ділянки агрорландшафту виконувалась за допомогою квадрокоптера Phantom 4 RTK. Для отримання мультиспектральних знімків використано камеру Parrot Sequoia. Оброблення отриманих даних та створення растрової моделі вегетаційного індексу виконано в програмному забезпеченні Pix4D Mapper.

**Результати та їх аналіз.** Відповідно Концепції збалансованого розвитку агроєкосистем в Україні на період до 2025 року, сучасний екологічний стан агрорландшафтів України є незадовільним. Зокрема на їх функціонування впливає комплекс негативних факторів, серед яких: недотримання вимог науково-обґрунтованої системи ведення сільського господарства, виснаження родючості та деградація ґрунтів, розповсюдження бур'янів, хвороб, шкідників, порушення гідрологічного режиму (Ministerstvo ahrarnoyi polityky Ukrainy, 2003).

Ще однією проблемою агрорландшафтів України є їх значна розореність, де в загальній структурі земель частка ріллі складає 56,1%, у той час як у інших країнах Європи даний показник не перевищує 35,7 % (Supragronom.com, 2019). Інші площі використовуються під багаторічні насадження (1,5 %), сінокоси (3,1 %) і пасовища (11 %). Першочерговим завданням, яке декларується в законодавчо-правових актах, є зменшення площі орних земель до 37-41% та збільшення частки сільськогосподарських угідь екстенсивного використання – сіножатей, пасовищ (Ministerstvo ahrarnoyi polityky Ukrainy, 2003).

Для створення умов збалансованого розвитку агрорландшафтів необхідно запровадити моделювання агроєкосистем на основі інформації про їх стан, систему землекористування,

технологію ведення сільськогосподарського виробництва, використання сортів і гібридів сільськогосподарських рослин, регулювання розповсюдження хвороб та бур'янів із урахуванням ґрунтово-кліматичних умов та запланованої продуктивності.

Одним із способів отримання інформації про стан агроландшафтів є проведення аерозйомки з використанням безпілотних літальних апаратів, які мають ряд переваг, порівняно з космічним зніманням або натурними спостереженнями, зокрема:

- можливість виконання низьковисотного знімання (100-300 м);
- висока розрізненість отриманих знімків (3-50 см/піксель);
- здійснення перспективного знімання (під кутом до горизонту);
- можливість точкового застосування;
- висока мобільність та оперативність отримання даних;
- можливість використання мультиспектральних камер для отримання інформації про відбиваючі характеристики об'єктів у різних спектральних діапазонах;
- маневреність, що полягає у виконанні знімань не тільки за визначеним маршрутом, а і з можливістю детального сканування окремих об'єктів території;
- простота в експлуатації та обслуговуванні;
- низька собівартість отриманих даних.

Ефективність використання безпілотних літальних апаратів для агромоніторингу досліджено на прикладі ділянки агроландшафту поблизу с. Велика Олександрівка Бориспільського району Київської області. Основою для даного дослідження стали виконані різночасові знімання за допомогою БПЛА у період із 02.06.2021 по 15.07.2021. Площа угіддя склала 3,4 га.

Знімання здійснювалось квадрокоптером Phantom 4 RTK, який завдяки вбудованому модулю забезпечує отримання даних позиціонування в режимі реального часу (Real Time Kinematic) та не потребує використання опорних точок. Висока точність позиціонування (вертикальна  $\pm 0,015$  м, горизонтальна  $\pm 0,01$  м) досягається завдяки вбудованій інтелектуальній системі TimeSync, яка забезпечує постійний зв'язок між польотним контролером, камерою та модулем RTK. Крім того, TimeSync використовує найточніші метадані кожного знімка, що дозволяє оптимізувати результати фотограмметричних методів і отримати найточніші дані позиціонування (DJI, 2022).

Планування польоту виконувалось у програмному забезпеченні DroneDeploy. Маршрут польоту і час на його виконання розраховувались автоматично, відповідно до вказаних параметрів: висота знімання 150 метрів, розрізненість знімка 4 см/піксель, перекриття між знімками 80 % повздовжнє, 75 % поперечне; швидкість зйомки 10 м/с.

На основі отриманих композитних RGB-знімків сформовано ортофотоплан, цифрову модель рельєфу (ЦМР) та цифрову модель місцевості (ЦММ).

Для отримання ортофотоплану кожне вихідне зображення трансформується в ортогональну проекцію з метою усунення спотворень, які виникають за рахунок рельєфу та способу отримання зображення, зокрема усуваються перспективні викривлення, спричинені дисторсією об'єктива, нерегулярні спотворення через відхилення орієнтування оптичної вісі від надиру та ін. У результаті, кожне зображення зводиться до планової проекції, при якій кожна точка місцевості спостерігається чітко вертикально, в надир. Потім виконується мозаїка, а саме, набір ортотрансформованих зображень "зшивається" в єдине зображення.

Створення ортофотомозаїки в програмному забезпеченні Pix4D Mapper складається з наступних етапів:

*Етап 1.* Формування хмари точок і сітки триангуляції. На даному етапі оброблені дані використовувались для формування тривимірної хмари точок з інформацією про колір та місцезнаходження кожної з них, а також тривимірної сітки триангуляції з текстурою.

*Етап 2.* Формування цифрової моделі місцевості (ЦММ) та ортофотоплану на основі даних, отриманих із попередніх етапів обробки.

У результаті отримано ортофотоплани ділянки агроландшафту (Рис.1.). За даними зображеннями можемо спостерігати зростання насаджень кукурудзи за період з 02.06.21 р. по 15.07.2021 р.



**Рис. 1.** Ортофотоплани заданої ділянки сільськогосподарського угіддя за період з 02.06.2021р. по 15.07.2021 р. [Розроблено авторами за результатами власного дослідження]

Автоматичний режим створення ортофотоплану дає можливість створювати віртуальні мозаїчні ортофотоплани з високою розрізненістю на великі за площею ділянки. Точність створених ортофотопланів перевіряють за контрольними точками, лініями "зшивання" частин ортофотопланів та зведенням із суміжними ортофотопланами. Контроль фотоплану за опорними точками полягає у перевірці місцезнаходження планових опознаків, які було взято на місцевості. Розбіжність на контрольних 9 фотограмметричних точках не повинна перевищувати 0,2 мм, на лініях "зшивання" частин ортофотокарти – 0,3 мм, при зведенні суміжних ортофотокарт – 0,4 мм в масштабі плану (Кочеригін Л., 2019).

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) та цифрова модель місцевості (ЦММ) створена на третьому етапі автоматичної обробки матеріалів в Pix4D mapper, яка має назву «DSM, Orthomosaic та Index».

На основі отриманих даних про ЦММ та ЦМР розраховано висоту рослинності на окремі дати (Рис.2) та отримано відповідні результати (Табл.1).

**Таблиця 1.** Висота рослинності на окремі дати [Укладено авторами за результатами власного дослідження]

Висота (м)	Дата знімання
0 – 0.8	19.06.2021
0.8 – 1	24.06.2021
1 – 2.5	15.07.2021

Для виконання мультиспектральної зйомки до Phantom 4 RTK було приєднано камеру Parrot Sequoia, технічні параметри якої задовольняють сучасні вимоги точкового землеробства: розмір пікселя 3,75 мм, фокусна відстань 3,98 мм та роздільна здатність 1280×960 пікселів. Parrot Sequoia оснащена двома сенсорами: мультиспектральним та сензором освітленості (Coptez.com, 2022). Завдяки мультиспектральному сенсору було отримано дані про кількість відбитого рослинами світла в чотирьох спектральних каналах: зеленому

(GREEN) (530-570 нм), червоному (RED) (640-680 нм), крайньому червоному (RED EDGE) (730-740 нм) та ближньому інфрачервоному діапазонах (NIR) (770-810 нм).



**Рис.2.** Зображення ЦММ заданого об'єкту на окремі дати  
[Розроблено авторами за результатами власного дослідження]

Наявність сенсору освітленості дозволило зафіксувати інтенсивність сонячного світла у вищевказаних спектральних діапазонах.

Отримані знімки в червоному і інфрачервоному спектрі (NIR та RED) стали основою для розрахунку вегетаційного індексу. Для цього першочергово створено карту відбивної здатності поверхні, на якій кожному пікселю надано значення коефіцієнту відбивання. Кількісно коефіцієнт відбивання розраховується за наступною формулою (1):

$$= \frac{\Phi}{\Phi_0} \quad (1)$$

де,  $\Phi$  – світловий потік відбитий від поверхні,  $\Phi_0$  – падаючий світловий потік.

Отримані значення відбивання використано для розрахунку вегетаційного індексу NDVI. Обраний індекс найкраще характеризує густоту рослинного покриву, що дозволяє дати оцінку схожості культур, обґрунтувати продуктивність посівів та сільськогосподарських угідь.

Індекс NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index) – це простий кількісний показник фотосинтетичної активної біомаси, який визначається на основі здатності рослин поглинати чи відбивати світлові хвилі в червоній та інфрачервоній зонах електромагнітного спектру (GIS LAB, 2016). Індекс розраховується за формулою (2):

$$= \frac{-}{+} \quad (2)$$

де, – відображення в ближній інфрачервоній області спектра, – в червоній області спектра.

Значення NDVI змінюються в діапазоні від -1 до 1. Висока фотосинтетична активність, пов'язана, як правило, з густою рослинністю, веде до меншого відбивання в червоній області

спектру і більшого в ближній інфрачервоній, тому значення індексу для рослинності є завжди додатними. Показник здорової, густої рослинності має бути вище 0,5. Чим більше значення NDVI, тим кращий стан рослинності на місцевості (Бардиш Б., Бурштинська Г., 2014).

Значення NDVI розподіляються на зони високої, середньої та низької вегетації за якими визначається норма внесення необхідних добрив та хімікатів для покращення стану сільськогосподарської культури (Табл.2).

**Таблиця 2.** Критерії розпізнавання стану рослинності за значеннями NDVI (GIS LAB, 2016).

Значення NDVI	Стан рослинності
0,71 – 1,00	дуже добрий
0,56 – 0,70	добрий
0,41 – 0,55	задовільний
0,31 – 0,40	поганий
0,21 – 0,30	пригнічений

Даний розподіл значень є умовним, оскільки завжди слід брати до уваги конкретний сезон, вид досліджуваної сільськогосподарської культури, регіональні особливості території, які можуть впливати на отримані значення NDVI.

Отже, на третьому етапі обробки даних в програмному забезпеченні Pix4D Mapper виконано оброблення мультиспектральних знімків та отримано значення відбивання, що стали основою для розрахунку NDVI та формування растрових моделей вегетаційного індексу заданої території за період із 19.06.2021 р. по 15.07.21 р. (Рис.3.).



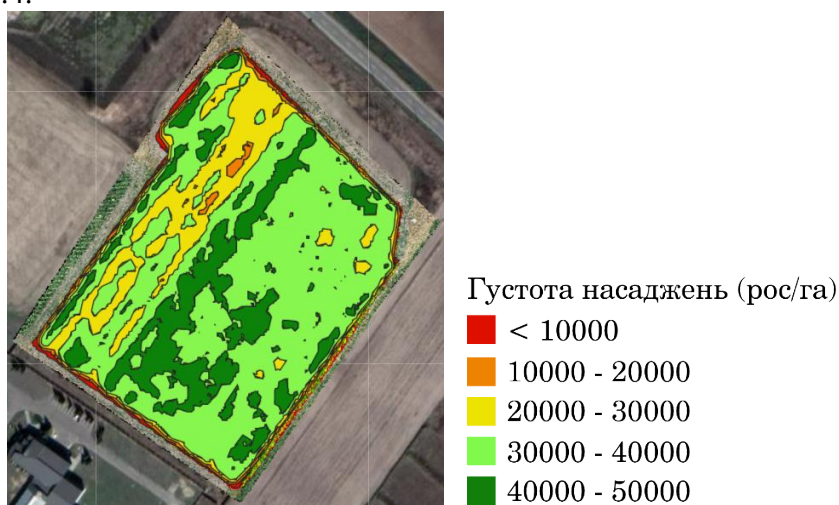
**Рис.3.** Растрові моделі вегетаційного індексу ділянки агроландшафту  
[Розроблено авторами за результатами власного дослідження]

Отримані значення NDVI знаходяться в межах від 0.2 (min) до 0.6 (max). Враховуючи фазу росту і тип культури, кожному значенню NDVI надано відповідне значення густоти насаджень, що відповідає середньорічному показнику на досліджуваній території (Табл.3).

**Таблиця 3.** Відповідність отриманих значень NDVI густоті насаджень кукурудзи на досліджуваній ділянці агроландшафту [Розроблено авторами за результатами власного дослідження].

Значення NDVI	Густота насаджень (рос/га)
0.2	< 10000
0.3	10000-20000
0.4	20000-30000
0.5	30000-40000
0.6	40000-50000

Досліджувану ділянку агроландшафту поділено на кластери за значеннями густоти насаджень та надано кожному з них відповідний колір. Розподіл густоти насаджень кукурудзи відображено на Рис.4.



**Рис.4.** Розподіл густоти насаджень кукурудзи на заданій території [Розроблено авторами за результатами власного дослідження]

Ділянки поля, що мають жовте та помаранчеве забарвлення є малопродуктивними та потребують додаткових обстежень на місцевості. Зокрема, необхідно проведення таких натурних обстежень: вимірювання температури орного шару ґрунту, візуальна та інструментальна оцінка вологості ґрунту, оцінка засміченості посівів бур'янами, пошкодження несприятливими метеорологічними явищами, шкідниками, хворобами, тощо. Також виконується забір зразків ґрунту та рослинного матеріалу для лабораторних обстежень. Результати даних аналізів допомагають вирахувати норму внесення добрив, адже їх нестача призводить до зменшення врожайності, а надлишок – до засмічення навколишнього середовища. Також для покращення врожайності на даних ділянках варто запровадити меліоративні та інженерно-захисні заходи.

**Висновки.** Результатом проведеного дослідження стало створення різночасових растрових моделей вегетаційного індексу в програмному забезпеченні Pix4D Mapper. Створені індексні карти насаджень кукурудзи відображають поступове дозрівання насаджень кукурудзи на ділянці агроландшафту, поблизу с. Велика Олександрівка Бориспільського району Київської області.

Отримані результати мають практичне значення при здійсненні оцінки стану агроландшафтів, аналізу якості виконання польових робіт, здійсненні різночасових спостережень за розвитком сільськогосподарських культур, прогнозуванні врожайності тощо. Розроблена карта густоти насаджень кукурудзи відображає нерівномірний розвиток рослини на обраній території. Малопродуктивні ділянки якої потребують додаткового обстеження і прийняття відповідних рішень із покращення посівів.

Використання безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві дозволить досягти збалансованого розвитку агроландшафтів, економічний ефект від запровадження

якого полягатиме у зменшенні витрат на відшкодування збитків від негативних явищ в агроландшафтах; попередженні втрат від зниження родючості ґрунтів, їх деградації; підвищенні урожайності вирощуваних сільськогосподарських культур. Даний підхід у перспективі дозволить реалізувати державну програму скорочення площ ріллі на 10-12 млн. га.

### Список використаних джерел

- Bardysh B., Burshtynska H., Vykorystannya vehetatsiynykh indeksiv dlya identyfikatsiyi ob'ektiv zemnoyi poverkhni // Cuchasni dosyahnennya heodezychnoyi nauky ta vyrobnytstva [The use of vegetation indices for the identification of objects on the earth's surface // Modern achievements of geodetic science and production]. – 2014. – №2 (28). – S. 82-88. (in Ukrainian)
- Kocherigin L. Fotogrametriya: navchal'nyy posibnyk [Photogrammetry: a textbook]. – Bila Tserkva: BNAU, 2019. – S.496 (in Ukrainian)
- Ministerstvo ahraryoi polityky Ukrayiny: Nakaz Pro zatverdzhennya Kontseptsiyi zbalansovanoho rozvytku ahroekosystem v Ukrayini na period do 2025 roku [Ministry of Agrarian Policy of Ukraine: Decree on approval of the Concept of agroecosystems balanced development in Ukraine for the period up to 2025], – 2003. – №280. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0280555-03#Text> (in Ukrainian)
- Mul'tyspektral'na kamera Parrot Sequoia [Parrot Sequoia multispectral camera] Retrieved from: <https://coptrz.com/shop/payloads/parrot-sequoia/> (in English)
- NDVI – teoryya y praktyka [NDVI – theory and practice] Retrieved from: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (in Russian)
- PHANTOM 4 RTK Retrieved from: <https://www.dji.com/cz/phantom-4-rtk> (in English)
- Reytnh krayin-lideriv za rivnem rozoranosti zemel' v sviti [Ranking Of Countries With The Most Arable Land] Retrieved from: <https://superagronom.com/news/6385-viznachenno-reyting-krayin-lideriv-za-rivnem-rozoranosti-zemel-v-sviti> (in Ukrainian)
- Tarariko O., Ahrolandshaft. Ekolohichna entsyklopediya [Agrolandscape. Ecological encyclopedia] redkol: Tolstoukhov A. – K.: LLC "Center for Environmental Education and Information", – 2007. – S. 15 (in Ukrainian)
- Tykhonova O., Slovnyk terminiv z ahrofitotsenolohiyi [Dictionary of terms in agrophytocenology]. – Sumy, 2009. – S. 21 (in Ukrainian)